

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON

Concours d'admission session 2021

Filière universitaire : Second concours

COMPOSITION DE GEOLOGIE

Durée : 3 heures – 20 pts

L'usage de calculatrices électroniques de poche, à alimentation autonome, non imprimante et sans document d'accompagnement, est autorisé.

Partie 1 : Géophysique des structures profondes actuelles

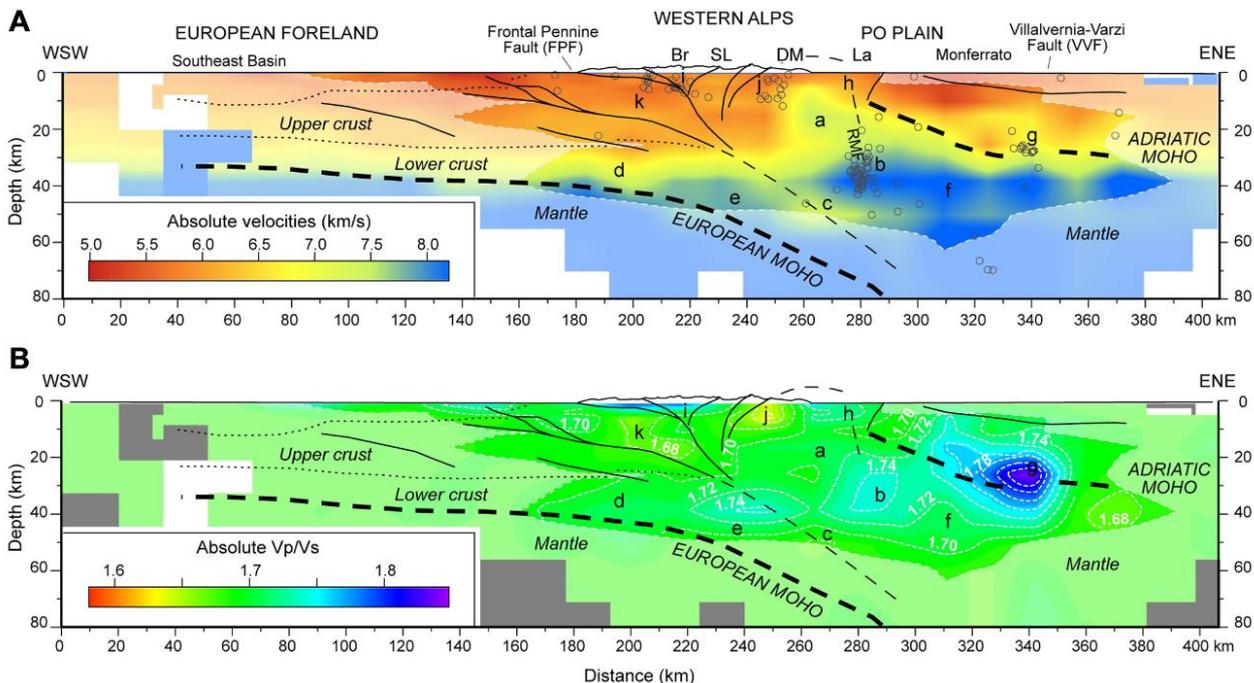


Figure 1 : Profil tomographique le long d'un transect dans les Alpes franco-italiennes réalisé à la latitude du massif de Dora Maira (DM). A : modèle de vitesse pour les ondes P. Cercles noirs : sismicité. Lignes noires : contacts tectoniques majeurs identifiés par la méthode des fonctions récepteurs (Malusa et al., 2017 ; Solarino et al., 2018). B : modèle tomographique pour le rapport Vp/Vs. Br : Briançonnais, SL : Schistes Lustrés, La : Lanzo.

Q1 : Expliquez comment ces images ont été construites par tomographie, ainsi que ce qui contrôle les vitesses des différentes ondes dans la lithosphère. (1 pt)

Q2 : Proposez des interprétations pour l'origine des anomalies « a » et « g ». (1 pt)

Q3 : En étayant votre propos à l'aide d'arguments mécaniques (par ex., les enveloppes rhéologiques), proposez des hypothèses pour l'origine mécanique de la sismicité de sub-surface (<10km) et profonde (>20km) localisée dans la figure 1a. (1 pt)

Partie 2 : Isostasie Alpine

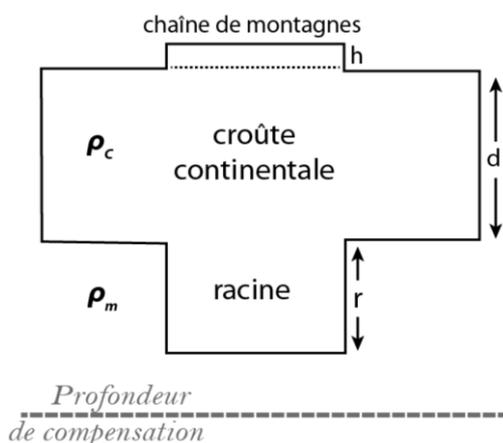


Figure 2 : Schéma conceptuel localisant la profondeur de compensation ainsi que les variations d'épaisseur crustale en fonction de la hauteur de la chaîne de montagnes (h) et de la racine orogénique (r).

Dans une chaîne de montagnes, la formation d'une topographie se traduit par la formation d'une racine crustale pour maintenir un équilibre isostatique. Suivant le modèle d'isostasie d'Airy, les pressions lithostatiques à la profondeur de compensation sont égales (pour rappel, $P = \rho * g * z$ et 1 GPa = 10kbars = ~35km).

Q4 : Démontrez la relation suivante : $r = h \times (\rho_c / \rho_m - \rho_c)$. Puis, calculez la profondeur de la racine crustale (r) sous l'arc Alpin, en considérant une topographie moyenne (h) de 3000 m. A quelle profondeur est attendu le Moho sous le cœur de la chaîne ? Comparez avec la figure 1. **(3 pts)**

(pour rappel, $\rho_m = 3200 \text{ kg/m}^3$ et $\rho_c = 2700 \text{ kg/m}^3$)

Partie 3 : Métamorphisme et géochronologie

Q5 : De quoi se compose théoriquement une croûte continentale typique ? Si ces roches sont emmenées en profondeur pendant une orogénèse pour former une racine crustale (comme sous les Alpes occidentales), quelles seront les conséquences sur la densité des roches ? Pourquoi et quelles réactions typiques ont lieu ? Quelles conditions pression-température sont théoriquement attendues dans une telle racine crustale ? **(2 pt)**

Voyons maintenant ce que l'étude des roches exhumées de la chaîne alpine peuvent apporter sur ce problème. Dans le massif de Dora Maira se trouvent mélangées des roches métamorphiques illustrées dans les figures 3A et 3B. Elles correspondent à de la croûte continentale d'origine Européenne entraînée en profondeur pendant la convergence Alpine.

Q6 : Nommez les roches A et B et, à l'aide des formules minérales données en Annexe, identifiez les minéraux numérotés. **(2 pts)**

Dans l'échantillon A, on identifie des cristaux de jadéite au microscope optique, ainsi que de la coésite dans les grenats associés à du talc et des inclusions de disthène. Dans la matrice des échantillons les plus rétro-morphosés, on trouve de l'albite, de la paragonite (et dans des roches adjacentes du chloritoïde) et la coésite n'est pas observée. Le diamant n'a pas été encore décrit.

Q7 : Proposez un faciès métamorphique pour ces deux assemblages ainsi que des conditions Pression-Température approximatives de formation des minéraux pour le pic métamorphique. Utilisez la grille en figure 3E pour vous guider. **(1 pt)**

Q8 : Les cristaux de zircon extraits des roches de Dora Maira indiquent des âges U-Pb d'environ 35 Ma pour les bordures et de 250 Ma pour les cœurs (Fig.3D). En parallèle les traces de fission sur apatite indiquent que l'isotherme 120°C a été franchi vers 29 Ma. Tracez un chemin potentiel d'exhumation (passant par le carré gris en bas à gauche marqué 30 Ma ; Fig.3E). Que pouvez-vous en conclure sur les vitesses d'exhumation ? (Donner une valeur approximative en mm/an et comparer aux vitesses des plaques tectoniques). **(2 pts)**

Q9 : En vous basant sur les résultats de la question 7, calculez un gradient géothermique pour les Alpes occidentales vers 35-40 Ma. Puis comparez cette valeur avec celui attendu dans une croûte continentale normale, et concluez sur l'origine tectonique possible de cette différence. **(1 pt)**

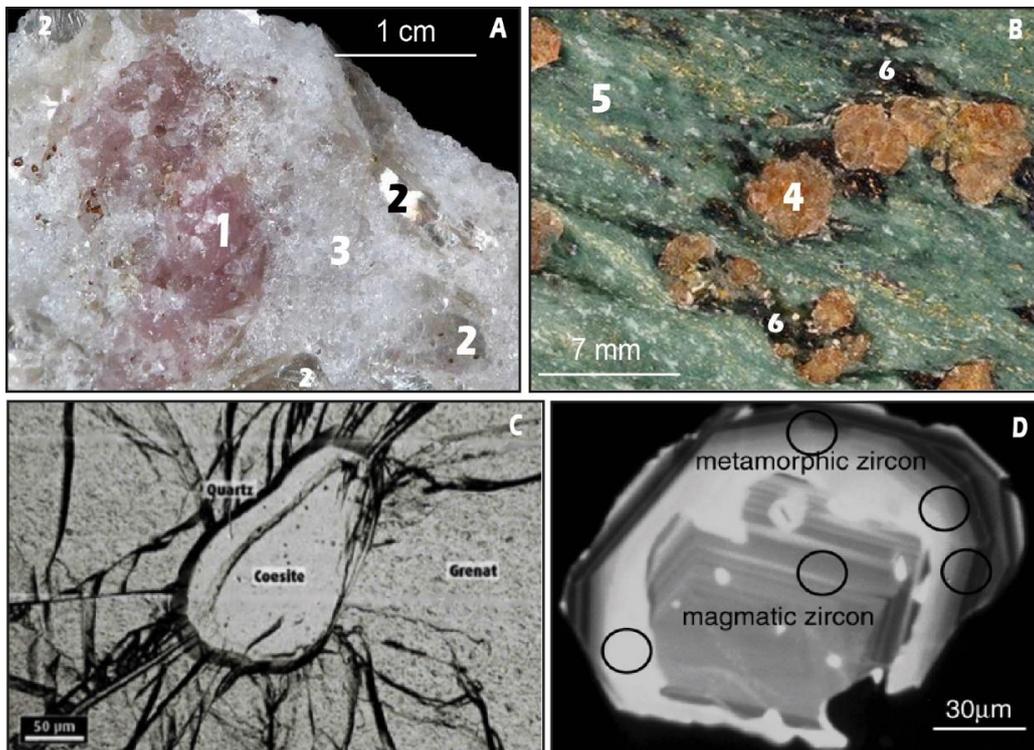


Figure 3 : A. Photo de l'échantillon A collecté dans le massif de Dora Maira (roche dont le pic de métamorphisme est daté à 35 Ma). B. Photo de l'échantillon B collecté à proximité de A dans le nord du massif de Dora Maira (âge du pic de métamorphisme à 41 Ma). C. Photographie d'une lame mince (lumière naturelle transmise) montrant une inclusion de coésite, avec du quartz, dans un cristal de grenat (échantillon A). D. Image en cathodoluminescence montrant un cristal de zircon issu de l'échantillon A avec un cœur d'origine magmatique et une bordure probablement formée vers 35 Ma au pic de métamorphisme (Rubatto et al., 2003). E. Diagramme P-T montrant les courbes de réaction de certaines espèces minérales présentes dans les échantillons A et B.

Partie 4 : Sédimentologie

Dans les bassins molassiques périphériques de la chaîne alpine (Dévoluy, Digne, plaine du Pô), on trouve des conglomérats avec, entre autres, des galets de radiolarite, des basaltes et des roches d'un faciès métamorphique similaire à celui de la figure 3B (voir figure 4).

Q10 : Que pouvez-vous dire sur le contexte de formation de ces bassins oligocènes (par ex. dynamique, paléo-environnement de dépôt) ainsi que sur leur remplissage ? Localisez sur la carte les sources potentielles de ces galets et expliquez votre choix. **(2 pt)**

Q11 : Que savez-vous du contexte paléogéographique au Jurassique moyen dans la région des Alpes occidentales ? **(0.5 pt)**

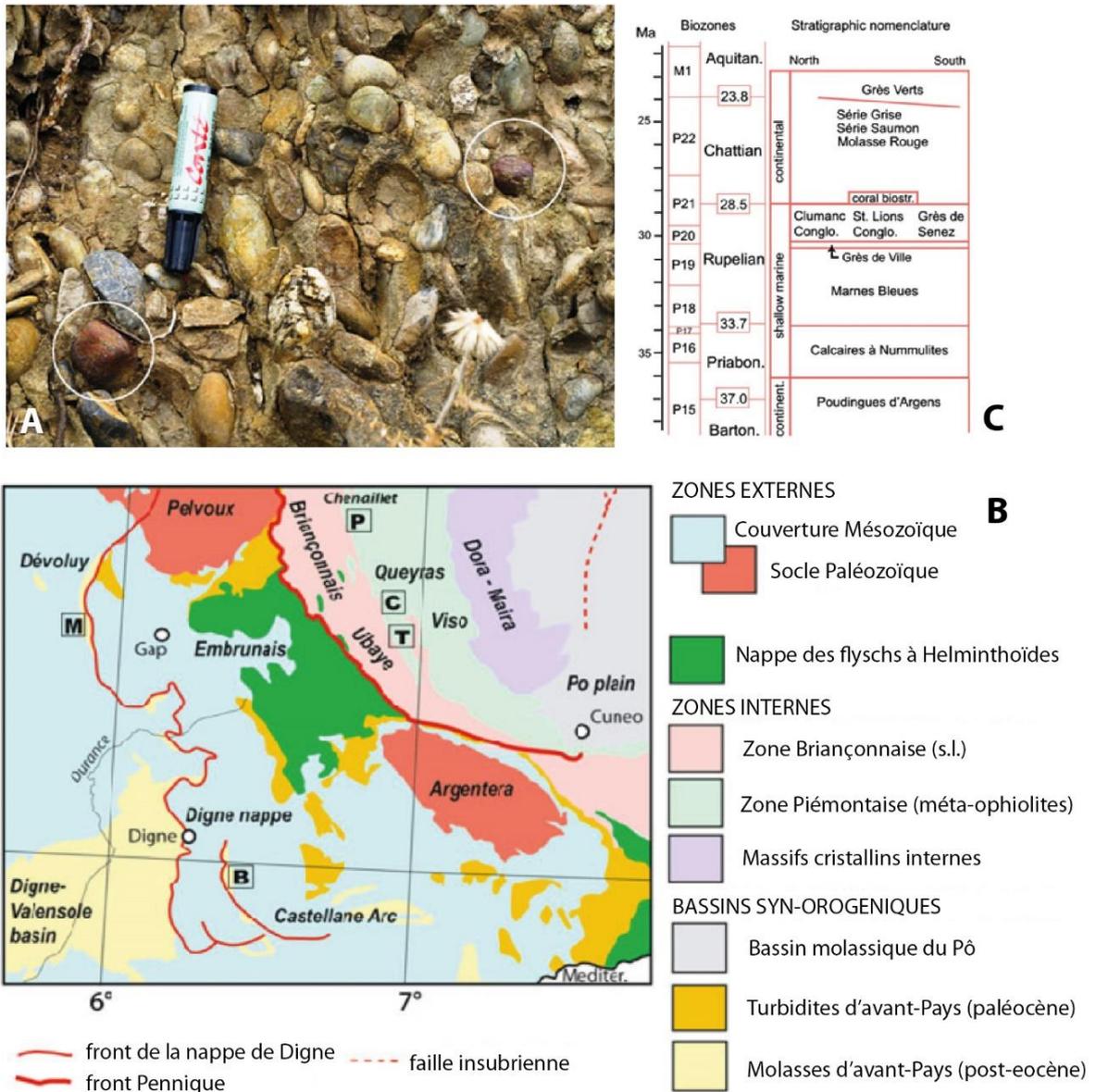


Figure 4 : A. Conglomérat contenant des galets de radiolarite avec fossiles de radiolaires (encerclés) datés du Callovien-Oxfordien trouvés dans le conglomérat de Clumanc (Cordey et al, 2012) (localités M et B sur la figure 4). B. Carte localisant les unités tectoniques majeures dans la partie sud de l'arc des Alpes occidentales. C. Echelle stratigraphique localisant les différents faciès rencontrés dans les terrains échantillonnés dans l'avant-pays Alpin entre les régions de Digne et du Dévoluy.

Q12 : Quelle information cruciale sur l'histoire de l'évolution de la chaîne alpine (et en particulier des zones internes) nous apporte l'étude et la datation de ces conglomérats ? Un lien peut-il être fait avec les données géochronologiques de la partie précédente ? **(0.5 pt)**

Q13 : Que nous indique le schéma structural de la figure 4B sur les évènements tectoniques (et leur âge relatif) affectant les bassins Oligo-Miocènes péri-alpins ? **(0.5 pt)**

Partie 5 : Magmatisme oligocène

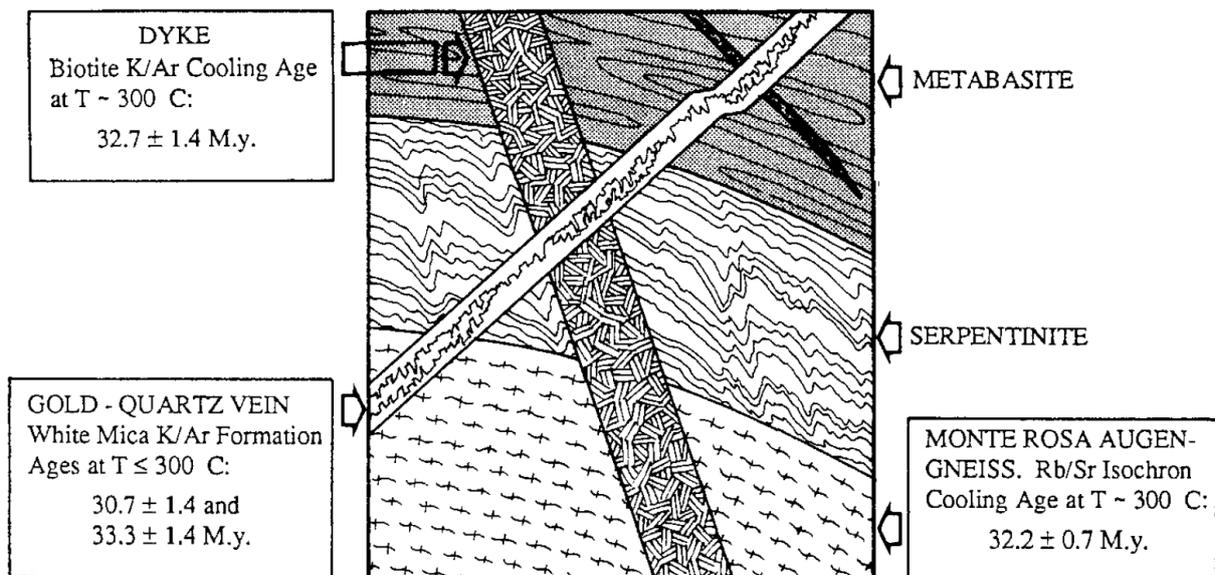
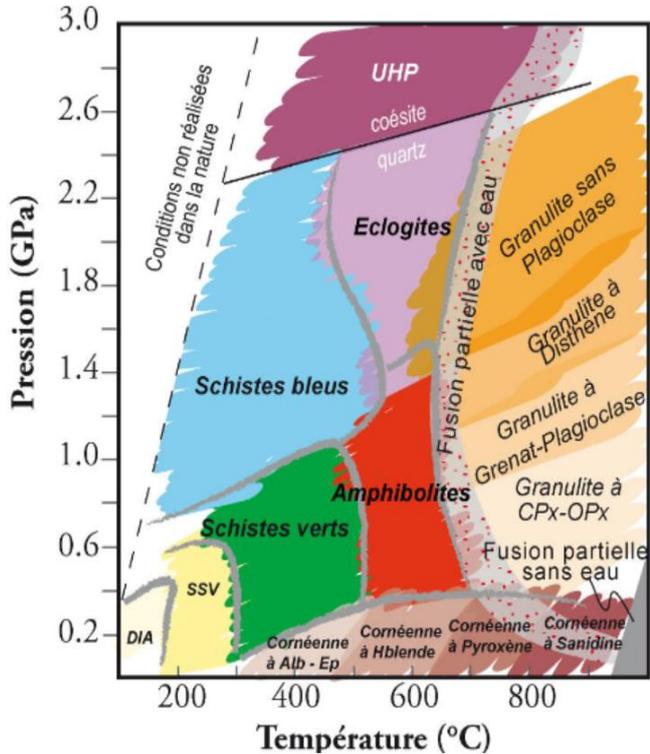


Figure 5 : Relations de recoupement entre dykes mafiques, veines et les roches des zones internes encaissantes, dans le Piémont alpin italien (modifié d'après Diamond & Wiedenbeck, 1986).

Dans le Piémont Italien s'observent des dykes recoupant les gneiss des massifs cristallins internes (Monte Rosa, Dora Maira...) ainsi que les séries méta-ophiolitiques sus-jacentes (Fig.5). Ces dykes d'andésites, de lamprophyres et de granodiorites ont des compositions allant de la série calco-alcaline à celle ultrapotassique. Owen (2008) a étudié ces lamprophyres et démontré des concentrations en SiO_2 de l'ordre de 50 wt.%, des teneurs en K_2O dépassant couramment 5 wt.%, des concentrations en Cr allant jusqu'à 1000 ppm et des concentrations en Ni dépassant parfois 400 ppm.

Q14 : En vous basant sur les données structurales, géochronologiques et géochimiques fournies et sur vos connaissances personnelles, proposez des hypothèses sur les conditions et mécanismes de mise en place de ces dykes et des veines de quartz aurifères illustrées en figure 5. En quoi ceux-ci peuvent se relier à l'évolution géodynamique long-terme de la chaîne alpine, en terme de dynamique de convergence et de gradient géothermique ? Illustrez vos propos à l'aide de schémas conceptuels ou de coupes géologiques. **(2,5 pt)**

Annexe :



Formules minérales :

- 1 : $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$
 - 2 : $K(AlMg)_2(OH)_2(SiAl)_4O_{10}$ (*clivage net, incolore en lumière transmise non polarisée*)
 - 3 : SiO_2
 - 4 : $(Fe, Mg, Ca)_3Al_2Si_3O_{12}$
 - 5 : $(Ca, Na)(Mg, Fe^{2+}, Al)Si_2O_6$
 - 6 : $Na_2(Mg_3Al_2)Si_8O_{22}(OH)_2$ (*bleuté en lumière transmise non polarisée au microscope optique*)
- Paragonite** : $NaAl_2[(OH)_2 | AlSi_3O_{10}]$
Talc : $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
Jadéite : $NaAlSi_2O_6$
Albite : $NaAlSi_3O_8$
Staurotide : $Fe^{2+}_2Al_9O_6(SiO_4)_4(O, OH)_2$
Chloritoïde : $(Fe, Mg)_2Al_4Si_2O_{10}(OH)_4$

Eon	Ere	Période	Epoque	Etage	Âge (Ma)	
Phanérozoïque	Cénozoïque	Quaternaire	Holocène		0,0117	
			Pléistocène	Supérieur Moyen Calabrien Gélasien		
		Néogène	Pliocène	Plaisancien Zancléen	2,58	
			Miocène	Messinien Tortonien Serravallien Langhien Burdigalien Aquitanien	5,333	
	Paléogène	Oligocène	Chatlien Rupélien	23,03		
			Eocène	Priabonien Bartonien Lutétien Yprésien	33,9	
		Paléocène	Thanétien Sélandien Danien	56,0		
			Supérieur	Maastrichtien Campanien Santonien Coniacien Turonien Cénomanién	66,0	
		Mésozoïque	Crétacé	Inférieur	Albien Aptien Barrémien Hauterivien Valanginien Berriasien	100,5
				Supérieur	Tithonien Kimméridgien Oxfordien	~ 145
	Jurassique		Moyen	Callovien Bathonien Bajocien Aalénien	163,5	
			Inférieur	Toarcien Pliensbachien Sinémurien Hettangien	174,1	
						201,3